

**Comportamento da ligação varões de aço-betão no contexto de reforço  
ao corte segundo a técnica ETS para vigas de betão armado**  
*Steel bar – concrete bond behavior in the context of the ETS shear strengthening  
technique for RC beams*

Gláucia Dalfré (1), Joaquim Barros (2) e Daniel Machado (3)

(1) MSc, Doutoranda em Engenharia de Estruturas, ISISE - Universidade do Minho

(2) Professor Associado, ISISE - Universidade do Minho

(3) Aluno de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil - Universidade do Minho  
Campus de Azurém, 4800-058 Guimarães Portugal

## Resumo

A utilização da técnica NSM (do inglês, Near-Surface Mounted technique) tem-se revelado eficiente no aumento da resistência à flexão e ao corte de vigas de betão armado (BA). No entanto, esta técnica não é aplicável no reforço ao corte de lajes. Assim, uma nova técnica de reforço ao corte foi desenvolvida (ETS – Embedded Through-Section, em língua inglesa), baseada na abertura de furos na espessura de lajes na zona de corte, onde os varões são embebidos por meio de adesivos. De forma a avaliar a contribuição do mecanismo de aderência na eficácia da técnica de reforço ao corte, um programa de ensaios de arrancamento foi realizado de forma a estudar a influência dos seguintes parâmetros na ligação varão de aço-betão: tipo de adesivo, espessura da camada de adesivo (2, 4, 5 e 6 mm), diâmetro do varão de reforço e comprimento de aderência. O programa experimental é descrito e os resultados obtidos são apresentados e analisados neste trabalho.

*Palavra-Chave: Reforço, corte, ETS, aço, betão.*

## Abstract

The use of near-surface mounted (NSM) technique has been proved to be very effective to increase the flexural and shear resistance of reinforced concrete (RC) beams. However, the NSM is not applicable for the shear strengthening of RC slab, thus a new technique was developed (ETS – Embedded Through-Section), consisting in opening holes across the slab thickness in the shear zone, where bars are inserted and bonded to concrete by an adhesive material. To assess the contribution of the bond mechanism for the shear strengthening effectiveness of this technique, a comprehensive pullout test program was carried out, where the influences of the type of adhesive, a thickness of the adhesive layer (2, 4, 5 and 6 mm), diameter of the strengthening bar and bond length on the bond phenomena were assessed. The experimental program is described and the obtained results are presented and analyzed in this paper.

*Keywords: Strengthening, shear, ETS, steel, concrete.*

## 1 Introdução

A técnica de reforço de elementos de Betão Armado (BA) baseada na inserção de laminados de fibras de carbono (CFRP) em finos entalhes efectuados no betão de recobrimento, designada na literatura internacional por “Near Surface Mounted” (NSM), vem ganhando cada vez mais o interesse de profissionais, engenheiros e investigadores interessados na reabilitação de estruturas. A eficácia desta técnica de reforço à flexão de estruturas de BA foi comprovada por diversos estudos experimentais, teóricos e numéricos (Blaschko e Zilch 1999, Nanni et al. 2004, El-Hacha e Rizkalla 2004, Barros e Fortes 2005, Kotynia 2006, Bonaldo et al. 2008), que contribuíram de forma decisiva na divulgação da NSM entre as comunidades técnico-científicas ligadas ao reforço de estruturas de betão, ilustrando as suas vantagens em comparação com as técnicas de reforço convencionais. Entretanto, a NSM possui também potencial para constituir uma técnica bastante eficaz no reforço aos momentos negativos de elementos contínuos de betão armado, tais como vigas e lajes, dada a facilidade e rapidez de aplicação (BARROS et. al, 2008). No entanto, a eficácia desta técnica pode ser comprometida pela formação de fendas de corte junto aos apoios centrais dos elementos estruturais reforçados. Além disso, refira-se ainda os casos de elementos estruturais que, posteriormente a uma operação de reforço à flexão, o seu modo de rotura passa a ser por corte. Esta ocorrência deve ser evitada dado que a rotura por corte é frágil e quase instantânea. Assim, o reforço à flexão pode exigir uma intervenção de reforço ao esforço transversal.

Perante isto, propõe-se, no presente trabalho, uma técnica de reforço ao corte, designada por ETS (“Embedded Through-Section”, em língua inglesa), baseada na instalação de varões em furos abertos na espessura do elemento a reforçar, sendo fixos ao betão por meio de adesivos. Com efeito, a presença dos adesivos como elemento de ligação do varão de reforço ao betão pode condicionar o sucesso da técnica proposta, tal como acontece em qualquer solução de reforço que recorra à colagem.

A investigação apresentada neste trabalho envolve uma componente experimental que consiste na realização de ensaios de arrancamento em varões de aço embebidos em adesivo epoxídico. Com estes ensaios, pretende-se avaliar o comportamento da ligação betão/adesivo/varão segundo vários aspectos, nomeadamente (i) o comprimento de ancoragem, (ii) o tipo de adesivo, (iii) a espessura da camada de adesivo e (iv) o diâmetro do varão de reforço.

Os resultados obtidos neste programa experimental, bem como os resultados de programas experimentais preliminares (BARROS et. al, 2008; DALFRÉ et. al, 2008) permitiram concluir que a utilização de varões de aço como elementos resistentes ao corte permite aumentos significativos da capacidade máxima de carga de elementos de betão armado com rotura por corte. Para além disso, este sistema de reforço está mais protegido das condições de agressividade ambiental e de actos de vandalismo, pois os elementos de reforço encontram-se embebidos no betão.

## 2 Programa experimental

### 2.1 Provetes

A investigação experimental do comportamento da ligação entre varões de aço e betão por intermédio de adesivos epoxídicos foi realizada por meio da execução de ensaios de arrancamento baseados na recomendação RILEM/FIP/CEB (1973) e em outros programas experimentais (Pilakoutas et al., 1994; Cook et al., 1993 e Bakis et al., 1998). O programa de ensaios experimental é constituído por 28 provetes de betão armado com dimensões de  $150 \times 150 \times 200 \text{ mm}^3$ . As características geométricas dos provetes encontram-se representadas na Figura 1. Uma vez que os adesivos têm um papel importante no sucesso desta técnica de reforço, dois tipos de resinas epoxídicas foram ensaiadas, aqui designadas como E (S&P- Resin 50) e S (Sikadur 32N). Além disso, dois comprimentos de ancoragem foram utilizados: 50 mm e 75 mm. Detalhes dos provetes ensaiados encontram-se apresentados na Tabela 1. A notação adoptada na identificação de cada provete é  $w\_x\_E_y(z)$ , onde  $w$  indica o tipo de adesivo utilizado (E para S&P - Resin 50 ou S para Sikadur 32N),  $x$  representa o comprimento de ancoragem (em centímetros),  $E_y$  corresponde à espessura da camada de adesivo e  $(z)$  é o número do provete da série (de dois provetes cada).

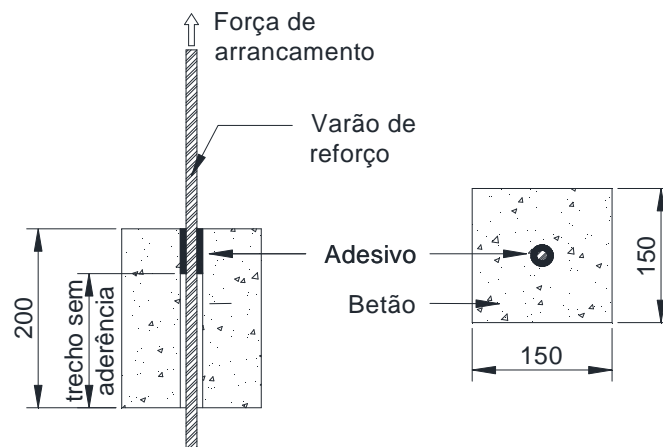


Figura 1 — Geometria dos provetes (dimensões em mm).

Tabela 1 — Detalhes do programa experimental.

Adesivo	8 mm			12 mm			
	Diâmetro do furo (mm)	Espessura da camada de adesivo (mm)	Comprimento de ancoragem (mm)	Diâmetro do furo (mm)	Espessura da camada de adesivo (mm)	Comprimento de ancoragem (mm)	
Sikadur 32N (S)	12	2	50	16	2	50	75
	18	5		20	4		
				24	6		
S&P Resin 50 (E)	12	2		16	2		
	18	5		20	4		
				24	6		

## 2.2 Propriedade dos materiais

A avaliação da resistência à compressão do betão utilizado na concepção dos provetes foi efectuada experimentalmente aos 28 dias. Para tal, de acordo com a especificação do LNEC E397 (1993), efectuaram-se ensaios de compressão uniaxial sobre cilindros de 150 mm de diâmetro e 300 mm de altura, tendo-se obtido valores médios de resistência à compressão e módulo de elasticidade de 28.40 MPa (1.61) e 29.83 GPa (0.29), respectivamente, onde os valores entre parênteses correspondem ao desvio-padrão dos resultados. Nos provetes ensaiados utilizaram-se varões de aço nervurado do tipo A400, com diâmetros de 8 ou 12 mm, cujas propriedades mecânicas são apresentadas na Tabela 2.

A avaliação do comportamento à tração dos adesivos utilizados para fixação dos varões de reforço, com as designações comerciais de Sikadur 32N (S) e S&P - Resin 50 (E), foram efectuadas experimentalmente por intermédio de ensaios de tração uniaxial segundo a norma ISO 527-5 (1993), cujas propriedades mecânicas também são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 — Propriedades mecânicas dos varões de reforço e dos adesivos epoxídicos.

Varão de reforço					Adesivos de reforço			
					Sikadur 32N (S)		S&P Resin 50 (E)	
Diâmetro (φs)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Tensão de cedência (0.2 %) <sup>a</sup> (MPa)	Extensão na cedência <sup>b</sup>	Tensão de tracção (MPa)	Tensão de tracção (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Tensão de tracção (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)
8 mm	200.80 (2.33%)	421.35 (0.53%)	0.0023 (2.65%)	578.75 (0.36%)	26.29 (10.62)	3.94 (9.82)	26.83 (4.62)	1.60 (4.64)
12 mm	200.46 (0.75%)	449.44 (1.06%)	0.0022 (1.72%)	589.62 (0.77%)				

(valor) Coeficiente de variação (COV) = (Desvio-padrão/Média) x 100

## 2.3 Sistema de ensaio e instrumentação dos provetes

Os provetes foram submetidos a ensaios de arrancamento até à sua rotura. Na Figura 2 apresenta-se o esquema do ensaio dos provetes e o sistema de monitorização para registo do deslocamento dos varões de reforço. Os testes foram baseados na recomendação RILEM/CEB/FIP (1973), utilizando uma máquina de ensaios servo-hidráulica com capacidade de 1000 kN.

O provete foi apoiado em uma placa metálica, com orifício central que permitia a passagem do varão, e este por sua vez foi preso na amarra da máquina de ensaios. A placa metálica foi fixa à base da máquina de ensaios por quatro tirantes metálicos. A carga aplicada foi registada por intermédio de uma célula de carga de  $\pm 200$  kN e o deslizamento do varão de reforço foi determinado por meio de dois transdutores de deslocamentos (LVDT's) colocados segundo o arranjo representado na Figura 2. Os ensaios foram controlados por intermédio do LVDT 1, tendo-se utilizado uma variação constante de deslocamento de 0.6 mm/min. Deve-se mencionar que o orifício central da placa de aço utilizada no ensaio possui dimensão suficiente para permitir a formação do cone de rotura nos provetes.



## 2.4 Aplicação do reforço segundo à técnica ETS

O reforço envolveu a abertura de furos nos provetes, os quais foram realizados com o auxílio de uma furadora eléctrica de impacto com broca diamantada e atravessam toda a extensão do provete. Essa etapa foi feita de forma gradual, de modo a garantir a centralidade do furo. Posteriormente, os resíduos e o pó existente dentro dos furos foram removidos pela aplicação de jactos de ar. A seguir, procedeu-se o encamisamento do varão de reforço com um tubo plástico, obtendo assim um trecho não aderente.

Posteriormente, procedeu-se à inserção dos varões de reforço, de 8 ou 12 mm de diâmetro, de modo a obter uma camada de adesivo com as espessuras médias indicadas na Tabela 3. Durante a aplicação do reforço houve a preocupação em garantir a não formação de bolhas de ar no interior do adesivo. Para isso, o adesivo foi inserido com o uso de seringas de grande capacidade volumétrica, de modo a não haver desperdício e garantir um bom preenchimento do furo, com o mínimo de vazios possível. A operação de reforço terminou com remoção do adesivo em excesso e a execução do acabamento final. Na Figura 3 apresenta-se o encamisamento do varão de reforço. Mais detalhes sobre a execução do reforço podem ser encontrados noutras publicações (BARROS et. al, 2008; DALFRÉ et. al, 2008).

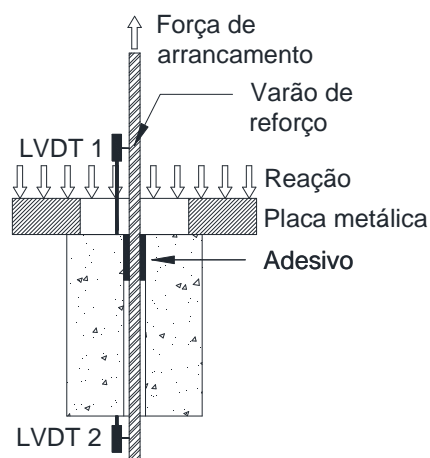


Figura 2 — Ensaio de arrancamento.



Figura 3 – Encamisamento do varão de reforço com um tubo plástico, de forma a obter o trecho não aderente.

## 2.5 Apresentação e análise dos resultados

O reforço ou reabilitação de estruturas através da colagem de varões atribui especial atenção à interface de ligação dos materiais. Assim, nas Figuras 4 a 6 apresentam-se as curvas correspondentes à relação entre a tensão de aderência e o deslizamento do varão de reforço para os provetes ensaiados. Na Tabela 3 apresentam-se os valores obtidos para comprimento de amarração,  $l_b$  (medido após a rotura dos provetes), a espessura da camada de adesivo, a carga máxima registada nos ensaios,  $F_{\max}$ , a tensão de aderência (correspondente a  $F_{\max}$ ), e os deslocamentos do varão de reforço na extremidade solicitada ( $s_{solic}$ ) e não solicitada ( $s_{nsolic}$ ), respectivamente, em  $F_{\max}$ . Os valores médios da tensão de aderência ( $\bar{\tau}_{F_{\max}}$ ) para provetes idênticos também são reportados.

A variabilidade dos resultados pode ser atribuída à pequena dimensão dos modelos de arrancamento e do comprimento de aderência, pois a menor variação em seu comprimento de ancoragem pode acarretar grande variação dos resultados. Assim, procedeu-se à aferição dos comprimentos de ancoragem de cada provete após o seu ensaio.

No ensaio de arrancamento, a distribuição de tensão não é constante ao longo do comprimento de ancoragem do varão. Assim, a tensão de aderência média foi quantificada a partir do respectivo valor da força máxima registada no ensaio ( $F_{\max}$ ) e foi definida como:

$$\tau = \frac{F_{\max}}{\pi d_b l_b} \quad (\text{Equação 1})$$

onde  $d_b$  é o diâmetro do varão de reforço e  $l_b$  é o comprimento de ancoragem.

O comportamento global da curva correspondente à relação entre a tensão de aderência e o deslocamento do varão de reforço apresenta um comportamento praticamente linear no início do carregamento, com aumento da tensão e com reduzido deslizamento do varão de reforço. Em seguida, e até atingir a tensão máxima de aderência, a ligação deixa de ter um comportamento linear devido ao comportamento não-linear do adesivo. Neste estágio a tensão de aderência e o deslizamento do varão de reforço aumentam consideravelmente, diminuindo a rigidez da ligação. A partir deste ponto os danos na ligação são suficientemente intensos para produzir uma diminuição da tensão de aderência com o aumento do deslizamento do varão em relação ao betão/adesivo envolvente.

Nas Figuras 4 a 6 apresentam-se os gráficos relativos à relação entre a tensão de aderência e os deslizamentos (zona solicitada e livre) do varão de aço dos provetes ensaiados.

### 2.1.1 Influência do tipo de adesivo e o seu no comportamento da aderência

Para as aplicações de reforço em engenharia civil, é necessário escolher o tipo de adesivo que melhor se adegue à aplicação em causa. Por isso, existe um grande número de formulações no mercado visando a melhor resposta do adesivo com as especificações de aplicação.

Tabela 3 — Resultados obtidos no programa experimental.

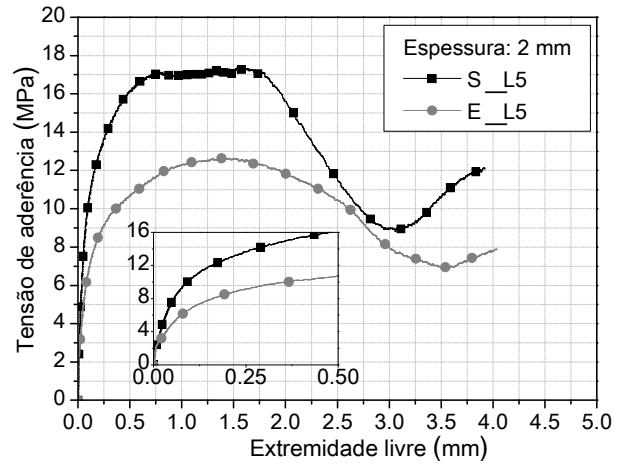
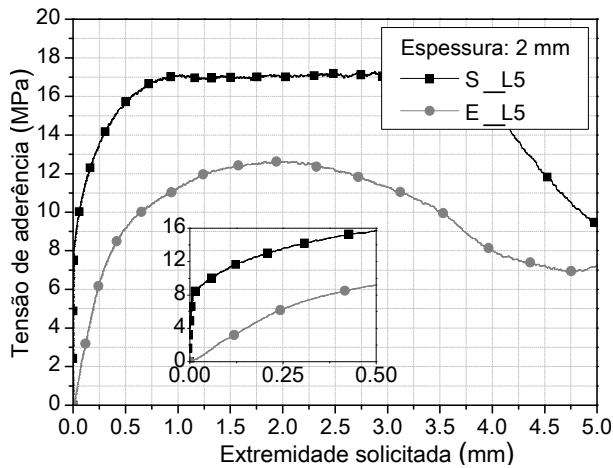
	Identificação do provete	Idade à data do ensaio (dias)		$l_b$ (mm)	Espessura da camada de adesivo (mm)	$F_{max}$ (kN)	$\tau_{Fmax}$ (MPa)	$\bar{\tau}_{Fmax}$ (MPa)	$s_{solic}$ (mm)	$s_{nsolic}$ (mm)
		Provete	Reforço							
8 mm	S_L5_E2(1)	190	23	50	2	21.79	17.34	-----	3.14	1.53
	S_L5_E5(1)	195	28	48	5	20.19	16.74	-----	1.67	-----
	E_L5_E2(1)	188	21	50	2	15.89	12.64	-----	1.91	1.36
	E_L5_E5(1)*	184	17	28	5	9.43	13.40	-----	2.23	1.63
12 mm	S_L5_E2(1)	223	21	48	2	29.78	16.46	14.40	0.38	0.15
	S_L5_E2(2)	223	21	52		24.18	12.33		0.33	0.11
	S_L5_E4(1)	223	21	50	4	23.74	12.59	11.40	1.83	1.35
	S_L5_E4(2)	223	21	51		19.63	10.21		0.23	0.12
	S_L5_E6(1)	223	21	51	6	30.19	15.70	14.85	0.75	0.35
	S_L5_E6(2)	223	21	52		27.42	13.99		0.92	0.73
	S_L7.5_E2(1)	223	21	75	2	46.42	16.42	14.45	0.63	0.12
	S_L7.5_E2(2)	223	21	76		35.75	12.48		0.40	0.13
	S_L7.5_E4(1)	223	21	73	4	42.02	15.26	14.81	0.70	0.53
	S_L7.5_E4(2)	223	21	76		41.16	14.36		0.16	0.09
	S_L7.5_E6(1)	223	21	76	6	39.93	13.94	14.32	1.80	1.25
	S_L7.5_E6(2)	223	21	75		41.53	14.69		1.33	0.98
	E_L5_E2(1)	220	18	53	2	19.28	9.65	13.01	2.60	2.00
	E_L5_E2(2)	220	18	50		30.86	16.37		2.51	1.63
	E_L5_E4(1)	218	16	53	4	26.07	13.04	12.59	0.60	0.72
	E_L5_E4(2)	218	16	56		25.62	12.13		0.62	0.49
	E_L5_E6(1)	220	18	56	6	28.59	13.54	13.40	1.09	0.75
	E_L5_E6(2)	220	18	60		30.02	13.27		1.28	0.05
	E_L7.5_E2(1)	220	18	72	2	28.59	10.53	11.18	0.61	0.51
	E_L7.5_E2(2)	220	18	77		34.29	11.82		3.24	2.32
	E_L7.5_E4(1)	218	16	75	4	37.77	13.36	12.75	0.72	0.43
	E_L7.5_E4(2)	225	23	82		37.50	12.13		0.94	0.80
	E_L7.5_E6(1)	220	18	76	6	40.49	14.13	13.47	1.49	1.00
	E_L7.5_E6(2)	220	18	78		37.63	12.80		0.43	0.40

\* Comprimento de ancoragem inferior ao esperado devido ao mau posicionamento do varão de reforço.

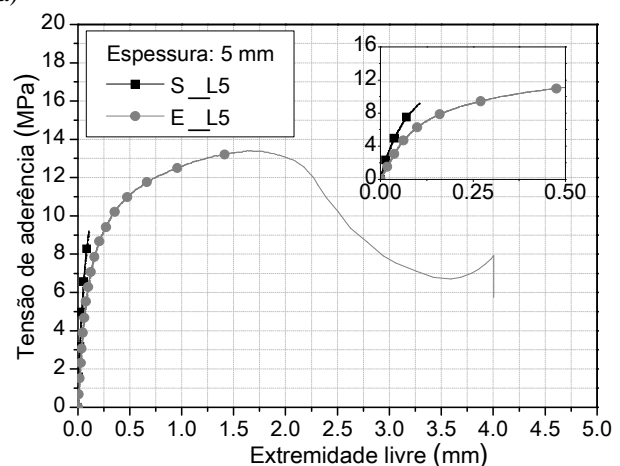
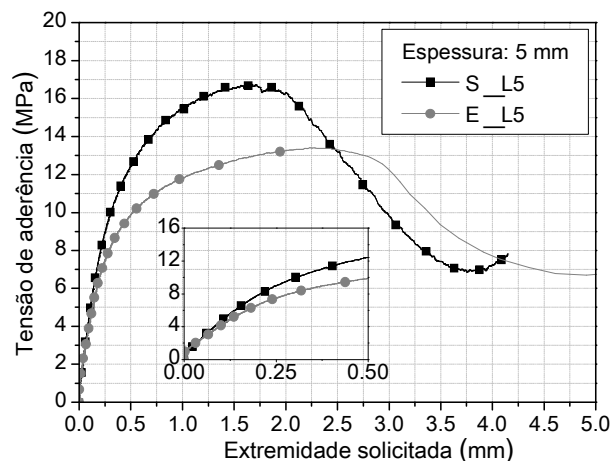
Com a utilização do adesivo do tipo S, foi observada uma boa aderência inicial, com comportamento praticamente linear no início do carregamento, uma vez que este adesivo possui um módulo de elasticidade superior ao obtido no adesivo do tipo E. Deste modo, os provetes reforçados com o adesivo do tipo S atingiram maiores tensões de aderência com menor deslizamento do varão de reforço. Com relação a  $F_{max}$ , os provetes reforçados com o adesivo do tipo S atingiram valores superiores aos reforçados com o adesivo do tipo E (com exceção do provete E\_L5\_4). Deve-se salientar que ambos os adesivos apresentaram valores semelhantes de resistência à tração.

### 2.1.2 Influência do diâmetro do varão de reforço no comportamento da aderência

A análise dos resultados apresentados nas Figuras 4 a 6 e na Tabela 3 permitem concluir que, na maior parte dos provetes, a tensão de aderência diminuiu à medida que aumenta o diâmetro do varão de reforço. Resultados de ensaios realizados por Meszaros apud Cook et al. (2007), também apresentaram comportamento semelhante aos obtidos neste programa experimental.

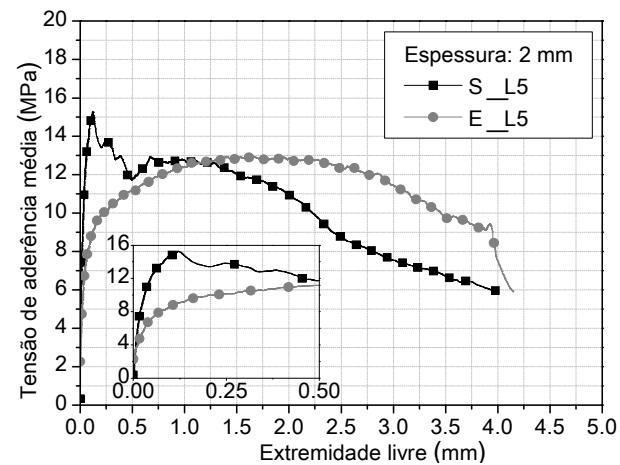
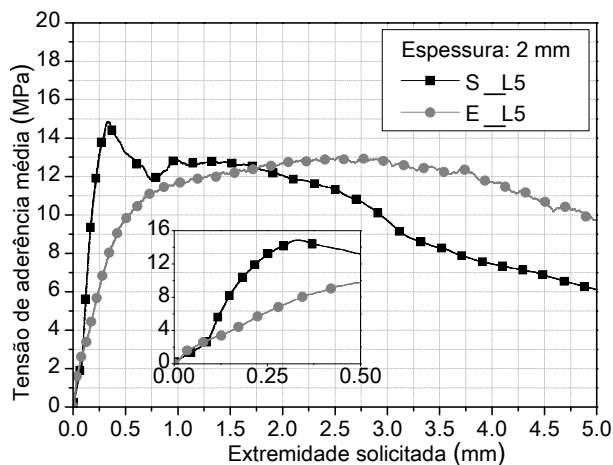


(a)



(b)

Figura 4 — Tensão de aderência vs. deslizamento de varão de reforço com 8 mm de diâmetro, comprimento de ancoragem de 5 cm e adesivos epoxídicos com espessuras de: (a) 2 mm, (b) 5 mm.



(a)



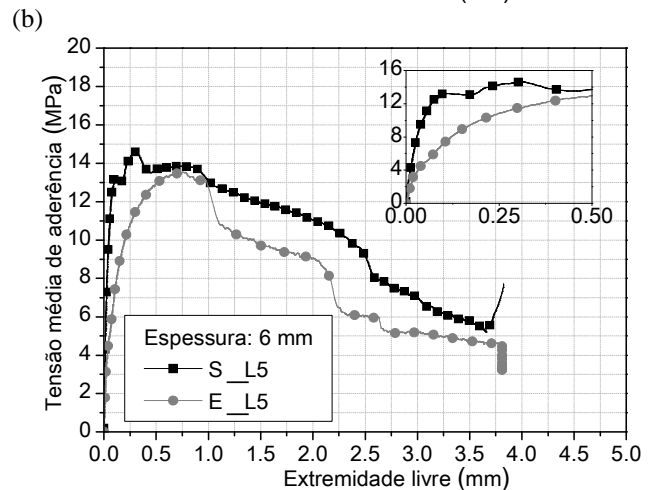
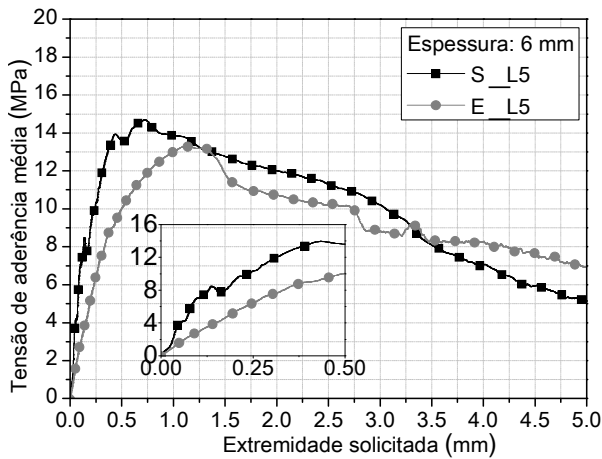
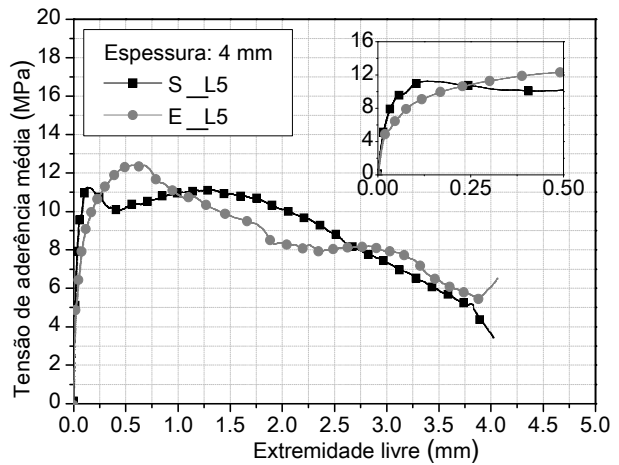
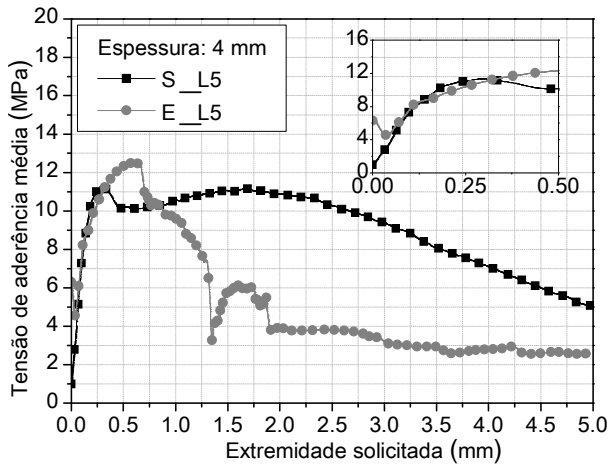
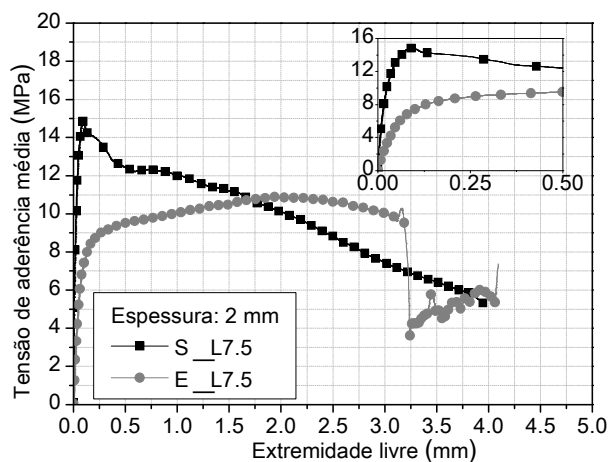
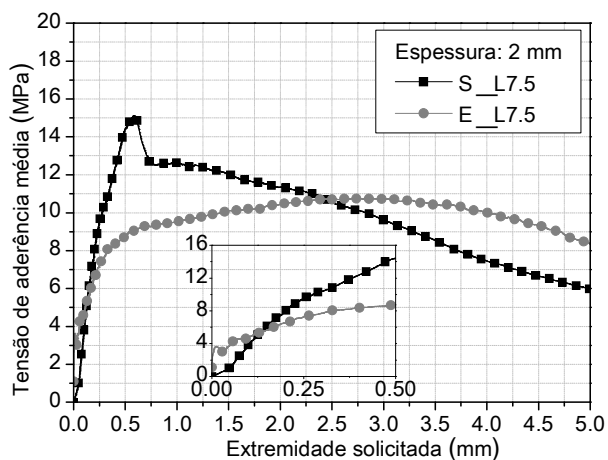


Figura 5 — Tensão de aderência vs. deslizamento de varão de reforço com 12 mm de diâmetro, comprimento de ancoragem de 5 cm e adesivos epoxídicos com espessuras de: (a) 2 mm, (b) 4 mm e (c) 6 mm.



(a)

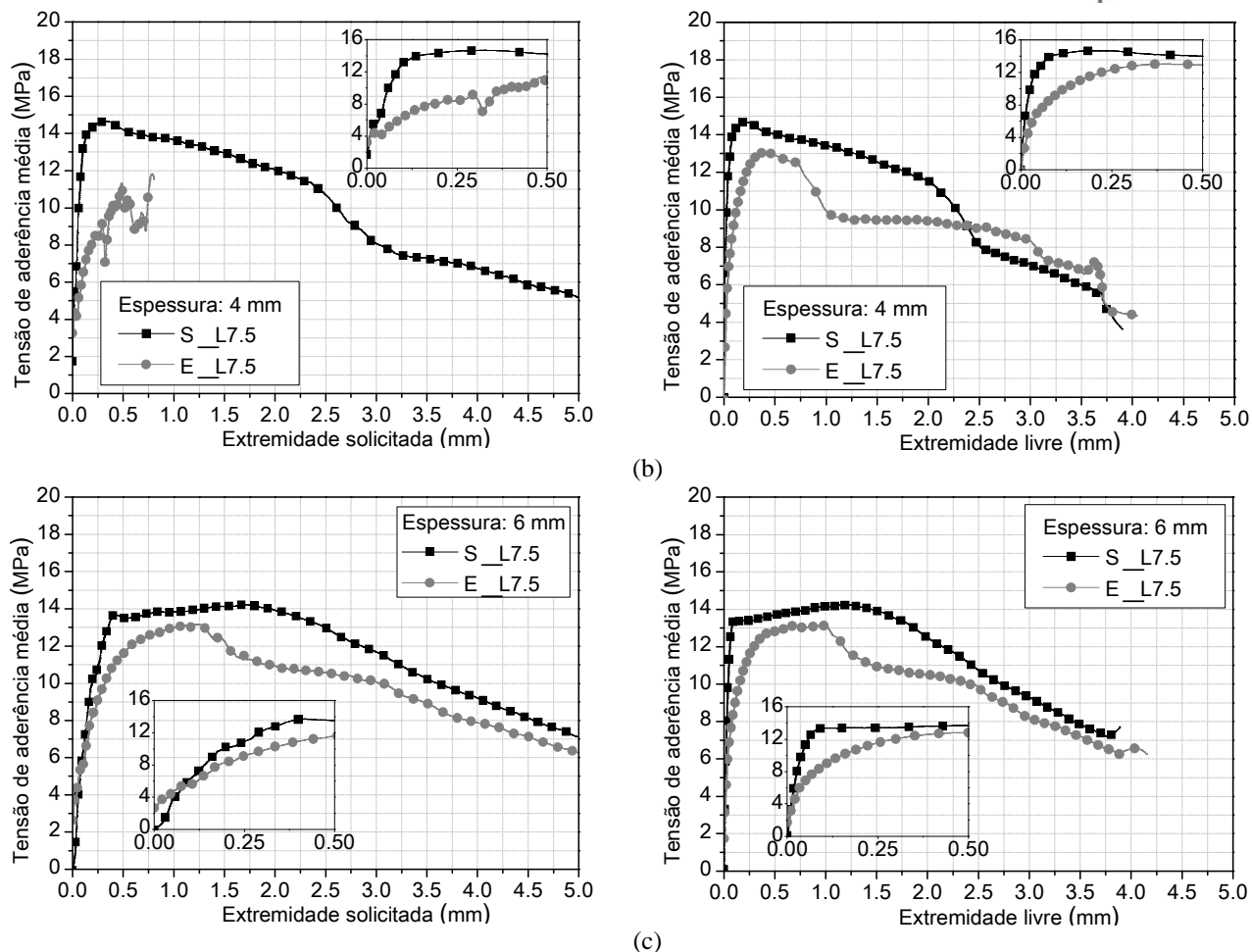


Figura 6 — Tensão de aderência vs. deslizamento de varão de reforço com 12 mm de diâmetro, comprimento de ancoragem de 7.5 cm e adesivos epoxídicos com espessuras de: (a) 2 mm, (b) 4 mm e (c) 6 mm.

### 2.1.3 Influência da espessura de camada de adesivo no comportamento da aderência

A tensão de aderência da ligação betão/adesivo/varão também foi analisada em função da espessura de camada de adesivo utilizada no reforço. Nos provetes reforçados com varões de 8 ou 12 mm de diâmetro, duas ou três espessuras de adesivos foram analisadas, nomeadamente 2 e 5 mm ou 2, 4 e 6 mm, respectivamente. Os provetes reforçados com varões de aço de 8 mm de diâmetro apresentam tensão de aderência semelhantes entre si. Neste caso, a tensão de aderência variou entre 12.64 MPa e 17.34 MPa, respectivamente, para a resina do tipo E e S. Deste modo, pode-se verificar que os provetes reforçados com o adesivo do tipo E apresentaram tensões máximas de aderência inferior às obtidas com a utilização do adesivo do tipo S.

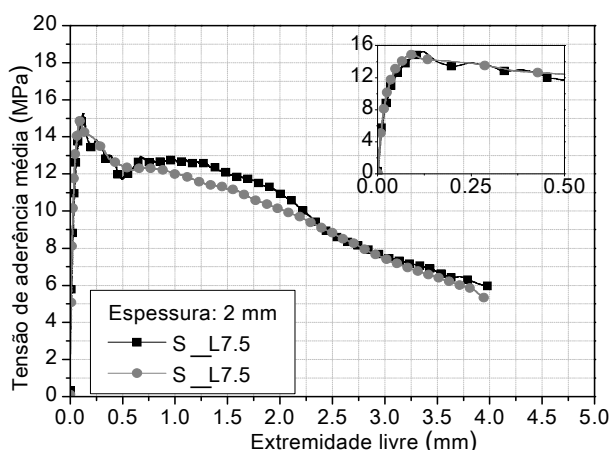
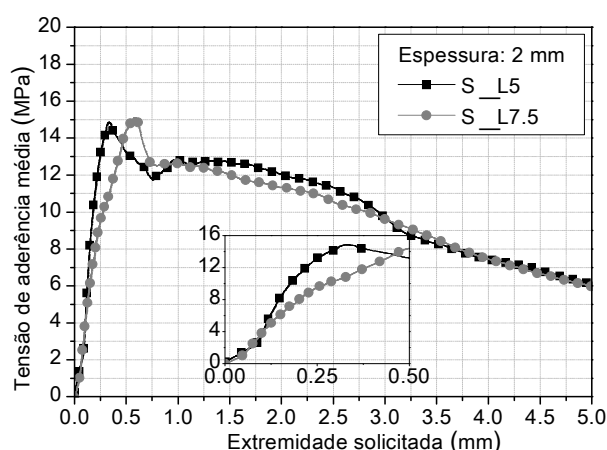
Em geral, quando se utiliza um varão de reforço de 12 mm de diâmetro, a tensão de aderência máxima não apresenta grande variação com o aumento da espessura da camada adesiva. Para uma camada de adesivo de 2 mm, a tensão máxima de aderência varia entre 11.18 MPa e 14.45 MPa para os adesivos do tipo E e S, respectivamente. Com o aumento da espessura do adesivo, a tensão de aderência média dos provetes reforçados é semelhante aos resultados obtidos para uma espessura de 2 mm, exceto

para o provete S\_L5\_E4. Deste modo, pode-se concluir que a tensão de aderência não é significativamente influenciada pela espessura da camada de adesivo.

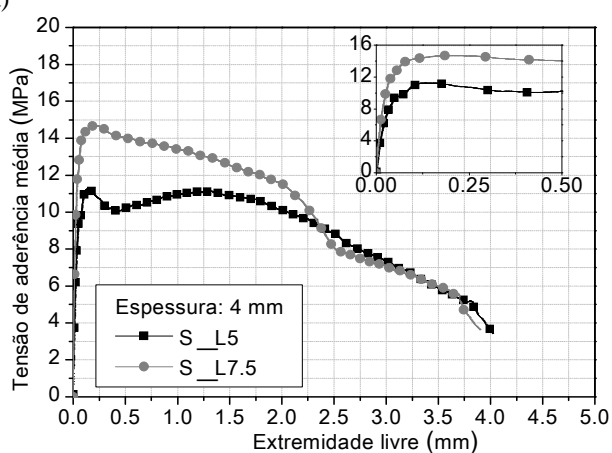
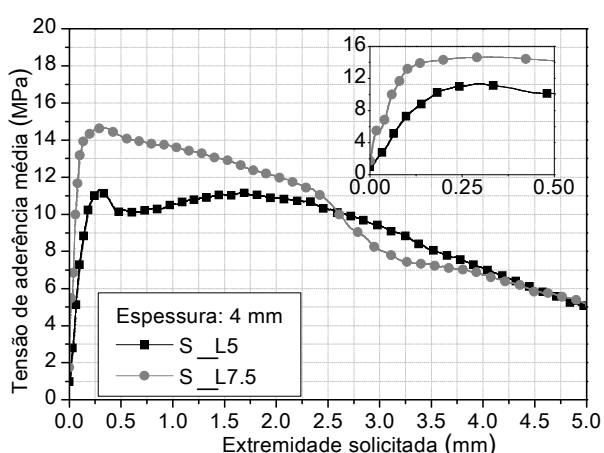
#### 2.1.4 Influência do comprimento de ancoragem no comportamento da aderência

A fim de avaliar a influência do comprimento de ancoragem na tensão de aderência de varões de aço fixos ao betão por meio de adesivos epoxídicos, dois comprimentos de ancoragem foram analisados.

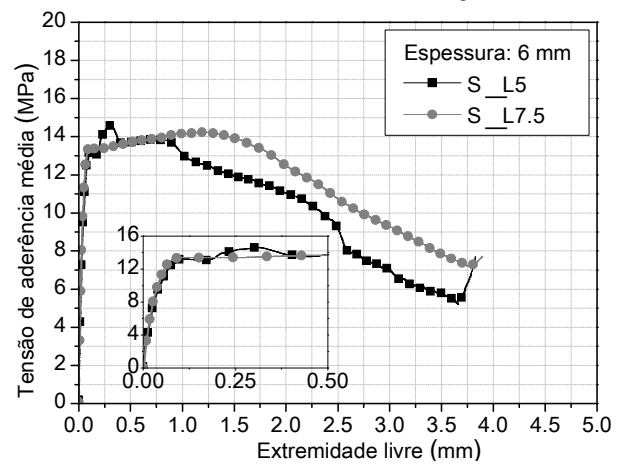
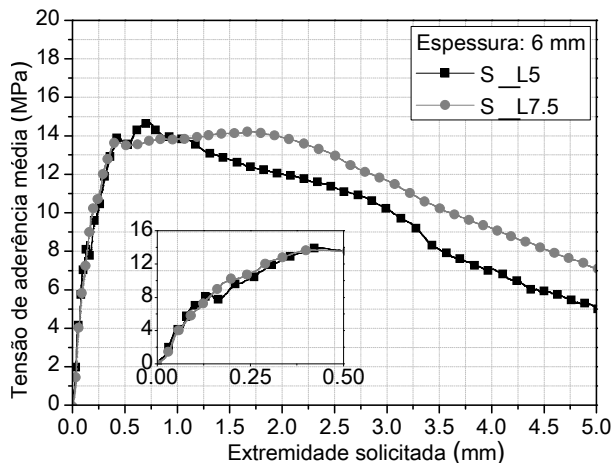
As Figuras 7 e 8 apresentam as curvas correspondentes à relação entre a tensão de aderência e o deslocamento do varão para os modelos ensaiados. A análise dos resultados permite concluir que os provetes reforçados atingiram tensões máximas de aderência semelhantes para ambos os comprimentos de ancoragem. Assim, para os provetes ensaiados, pode-se concluir que a tensão de aderência não é influenciada pelo comprimento de ancoragem.



(a)

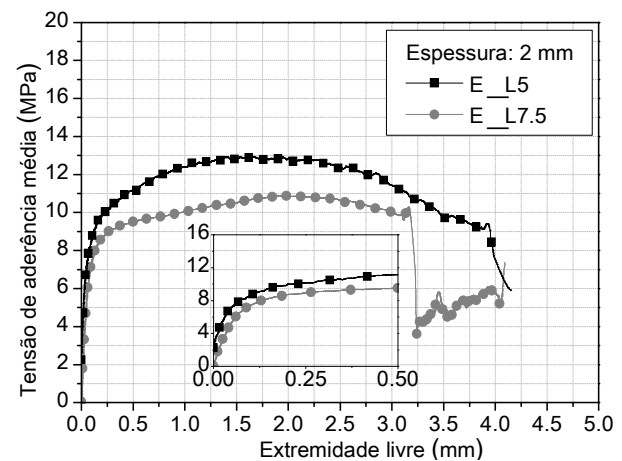
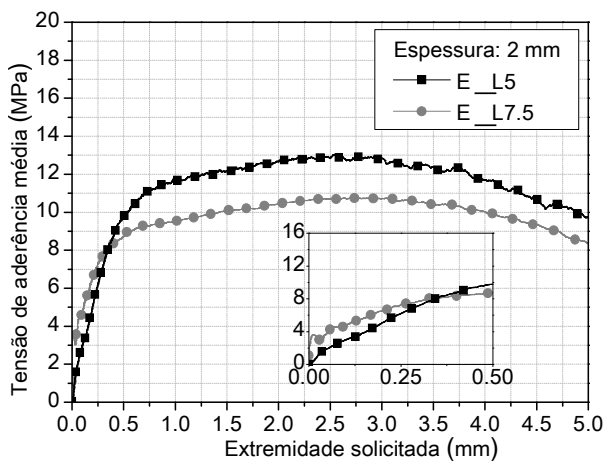


(b)

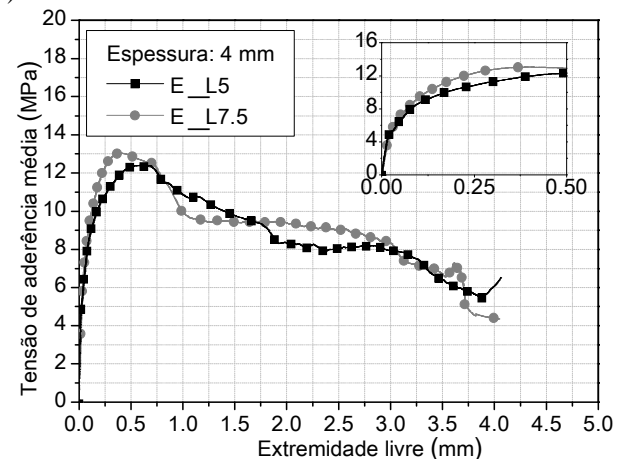
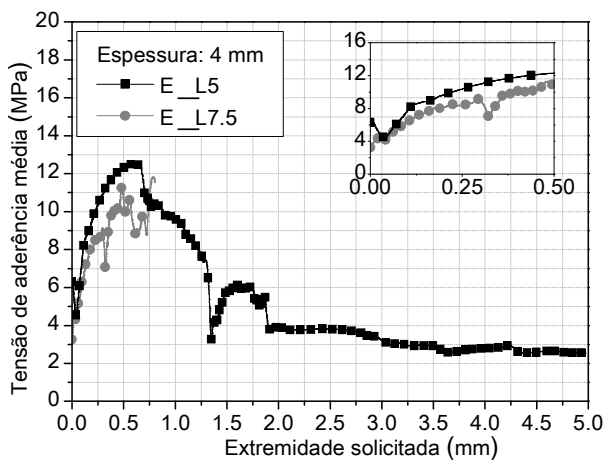


(c)

Figura 7 — Influência do comprimento de aderência na relação tensão de aderência vs. deslizamento de varão de reforço com 12 mm de diâmetro e adesivo do tipo Sikadur 32N com espessuras de (a) 2 mm, (b) 4 mm e (c) 6 mm.

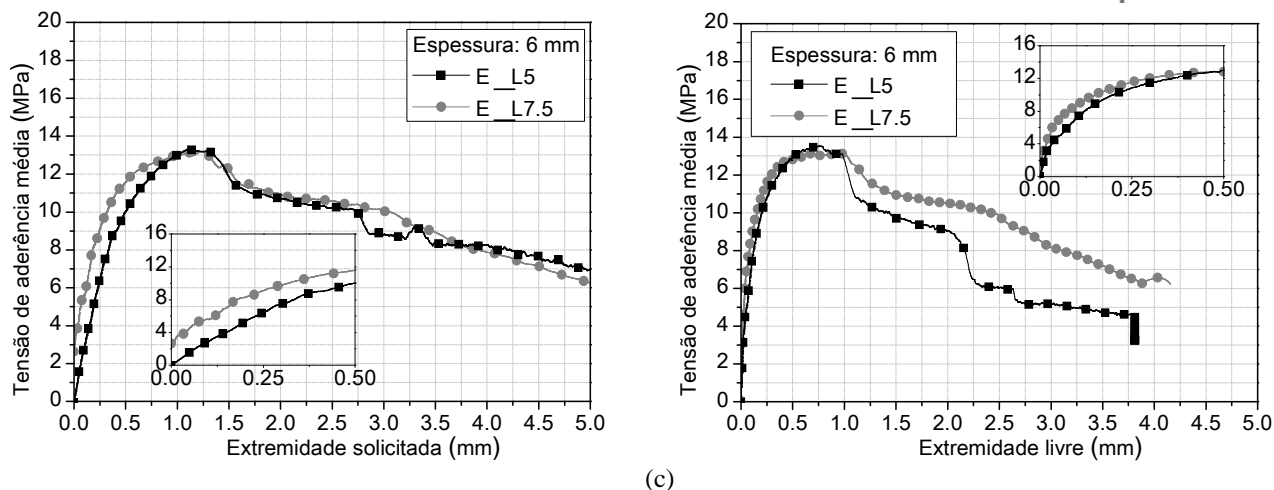


(a)



(b)





(c)

Figura 8 — Influência do comprimento de ancoragem na relação tensão de aderência vs. deslizamento de varão de reforço com 12 mm de diâmetro e adesivo do tipo S&P - Resin 50 com espessuras de (a) 2 mm, (b) 4 mm e (c) 6 mm.

## 2.6 Modos de rotura

Os modos de rotura de ambos os sistemas adesivos foram semelhantes. Os provetes reforçados com varões de aço de 8 mm de diâmetro apresentaram rotura na interface da ligação aço/adesivo, com posterior arrancamento do varão de reforço. Os provetes reforçados com varões de aço de 12 mm de diâmetro apresentaram rotura da interface betão/adesivo/varão e pela formação de um cone superficial de rotura do betão. A Figura 9 apresenta exemplos dos modos de rotura obtidos no programa experimental.

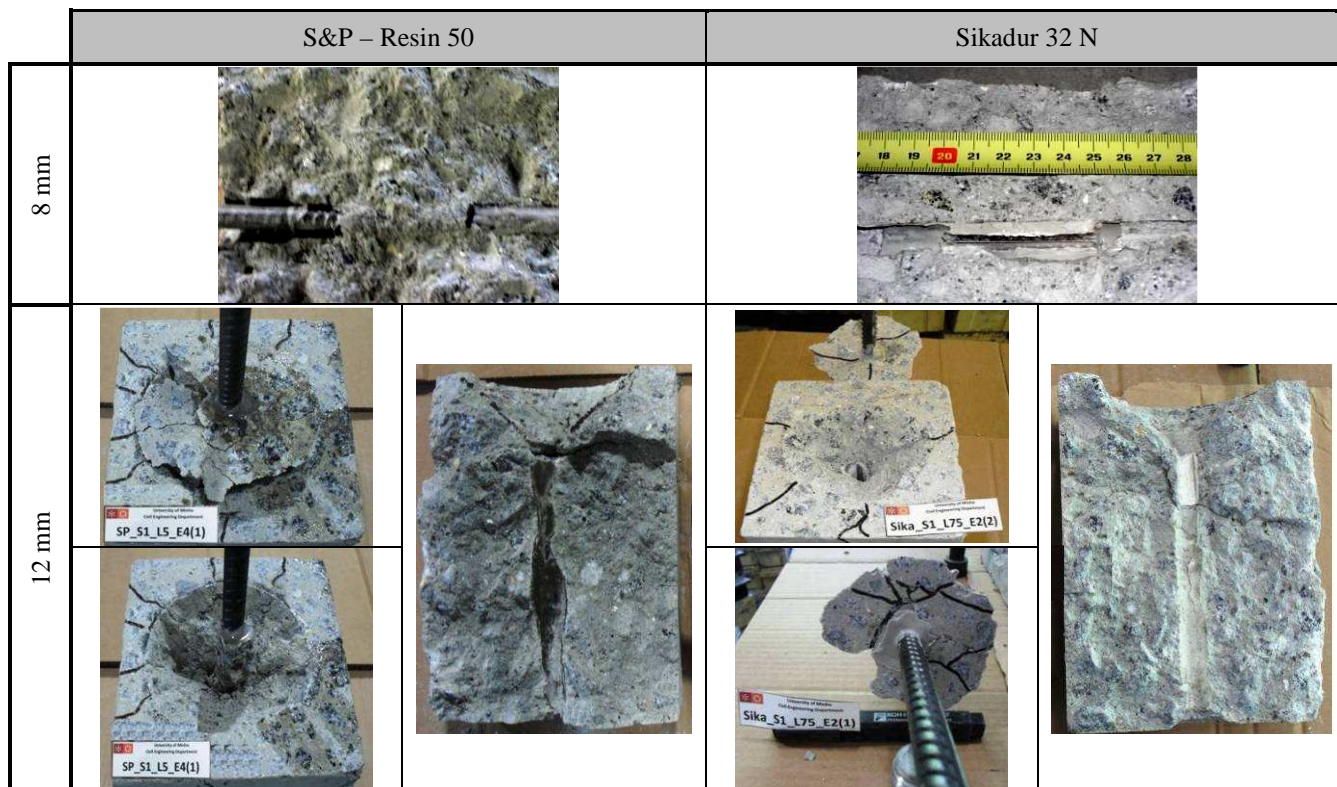


Figura 9 - Modos de rotura.

### 3 Conclusões

Uma nova técnica de reforço (ETS) para o aumento da capacidade de carga de elementos com rotura por corte é proposta. Esta técnica baseia-se na inserção de varões em furos efectuados nas peças de betão armado a reforçar. Os varões são fixos ao betão por intermédio de adesivo epoxídico. Concretamente, a análise da influência de parâmetros para a eficácia da técnica de reforço ao corte é proposta, a saber: dois tipos de adesivos (Sikadur 32N e S&P - Resin 50), o diâmetro dos varões de reforço (8 e 12 mm), espessura da camada adesiva (2, 4, 5 e 6 mm) e comprimento de ancoragem (50 mm ou 75 mm). As principais conclusões extraídas deste trabalho de investigação foram às seguintes:

- i) O comportamento da ligação betão/adesivo/varão de reforço depende do tipo de adesivo escolhido para o sistema de reforço ao corte.
- ii) Alterações na rigidez inicial devido ao tipo de adesivo utilizado foram observados. Os valores de deslocamento do varão de reforço são maiores no caso dos provetes reforçado com o adesivo do tipo E.
- iii) De acordo com os dados, pode-se concluir que a tensão de aderência não é influenciada pelo comprimento de ancoragem e pela espessura da camada de adesivo.

### 4 Agradecimentos

Este trabalho pertence ao programa de investigação "CUTINEMO - Carbon fiber laminates applied according to the near surface mounted technique to increase the flexural resistance to negative moments of continuous reinforced concrete structures", financiado pela FCT, PTDC/ECM/73099/2006. O primeiro autor manifesta também o seu agradecimento ao apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) - Brasil, bolsa GDE 200953/2007-9.

### 5 Referências

BARROS, J.A.O. e FORTES, A.S. **Flexural strengthening of concrete beams with CFRP laminates bonded into slits**. Journal Cement and Concrete Composites, Vol. 27(4), pp. 471-480, 2005.

BARROS, J.A.O., DALFRÉ, G.M. e DIAS, J.P. **Numerical Simulation of Continuous RC Slabs Strengthened using NSM Technique**, Proceedings of 2nd International Conference on Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting, Cape Town, South Africa, November, 2008.

BARROS, J.A.O., DALFRÉ, G.M., TROMBINI, E. e APRILE, A. **Exploring the possibilities of a new technique for the shear strengthening of RC elements**. Proceedings of the International Conference Challenges for Civil Construction, 2008.

BAKIS. C. E., UPPULURI. V. S., NANNI. A. e BOOTHBY. T.E. **Analysis of Bonding Mechanisms of Smooth and Lugged FRP Rods Embedded in Concrete**. Composites Science and Technology, 58. pp. 1307-1319, 1998.

BLASCHKO, M. e ZILCH, K. **Rehabilitation of concrete structures with CFRP strips glued into slits**. Proceedings of 12th International Conference on Composite Materials, Paris, France, July, 1999.

BONALDO, E., BARROS, J.A.O. e LOURENÇO, P.J.B. **Efficient strengthening technique to increase the flexural resistance of existing RC slabs**. Journal of Composites for Construction, Vol. 12(2), pp. 149-159, 2008.

COOK, R. A., KUNZ, J., FUCHS, W. e KONZ, R. C. **Behavior and Design of Single Adhesive Anchors under tensile load in uncracked concrete**. ACI Structural Journal. 95 (1), 1998.

COOK, R.A., ELIGEHAUSEN, R., and Appl. J. **Overview - Behavior of Adhesive Bonded Anchors**. Beton- und Stahlbetonbau, Ernst & Sohn, V. 102, Issue S1, September, 2007, pp.16-21, 2007.

DALFRÉ, G. BARROS, J. e TROMBINI, E. **Análise do desempenho de uma nova técnica de reforço ao corte para elementos estruturais de betão armado**. BE2008 – Encontro Nacional de Betão Estrutural, 2008.

EL-HACHA, R. e RIZKALLA, S.H. **Near-surface-mounted fiber-reinforced polymer reinforcements for flexural strengthening of concrete structures**. ACI Structural Journal, Vol. 101(5), pp. 717-726, 2004.

Especificação do LNEC E397. **BETÕES – Determinação do Módulo de Elasticidade em Compressão**, LNEC, Portugal, Maio, 1993.

ISO 527-5. **Plastics - Determination of tensile properties - Part 1: Test conditions for unidirectional fibre-reinforced plastic composites**. International Organization for Standardization, Genève, Switzerland, 9 pp., 1993.

KOTYNIA, R. **Analysis of reinforced concrete beams strengthened with near surface mounted FRP reinforcement**. Archives of Civil Engineering, LII 2, 305-317, 2006.

NANNI, A., Di LUDOVICO, M. e PARRETTI, R. **Shear strengthening of a PC bridge girder with NSM CFRP rectangular bars**. Advances in Structural Engineering, 7(4), 97-109, 2004.

PILAKOUTAS, K., HAFEEZ, S. e DRITSOS, S. **Residual bond strength of polymer adhesive anchored reinforcement subjected to high temperatures**. Materials and Structures, 27. 527-531, 1994.

RILEM/FIP/CEB. **Bond Test for Reinforcing Steel. 1. Beam Test (7 – II – 28 D). 2. Pull-Out Test (7 – II – 128)**. Tentative Recommendations". RILEM Journal Materials and Structural, v.6., n. 32, pp. 96-105, 1973.